·论著·

减少室内空气颗粒物对老年人心血管和呼吸系统生理指标的影响研究

周敏[1]，郑子光[2]，游宏宇[2]，郭淼[3]，喻伟[3*]

【摘要】 **背景** 暴露于室内空气颗粒物污染会增加呼吸道和心血管疾病的发病率和死亡率，在老年人群中尤其明显。**目的** 探究室内空气颗粒物对老年人心肺相关生理指标的影响，及短期使用空气净化器是否改善老年人的心肺健康。**方法** 于2020年1月选取中国重庆市江北区老年公寓24名健康老年人为研究对象进行一项随机、双盲交叉试验。老年人随机平均分为两组，交替使用真、假空气净化器48 h，期间有12 d的洗脱期。每次净化结束后测试老年人14种循环系统的炎症、凝血和氧化应激的生物标志物及肺功能、血压、心率和呼出气一氧化氮（FeNO）等健康指标。应用线性混合效应模型评估空气净化器对健康指标的影响。**结果** 线性混合效应模型结果显示，与假净化器相比，使用真净化器的老年人血液炎症因子中纤维蛋白原、单核细胞趋化蛋白1（MCP-1）、髓过氧化物酶（MPO）的改变量为-15.1%〔95%*CI*（-23.1%，-6.3%），$P<0.05$〕、-17.7%〔95%*CI*（-22.9%，-12.3%），$P<0.05$〕和-17.2%〔95%*CI*（-23.9%，-9.8%），$P<0.05$〕；凝血因子中纤溶酶原激活物抑制剂1（PAI-1）改变量为-14.9%〔95%*CI*（-21.1%，-8.2%），$P<0.05$〕，组织型纤溶酶原激活物（t-PA）改变量 为-13.5%〔95%*CI*（-18.7%，-8.0%），$P<0.05$〕；心率改变量为-5.8%〔95%*CI*（-10.6%，-0.8%），$P<0.05$〕；室内细颗粒物（$PM_{2.5}$）浓度每升高1 μg/m^3，老年人纤维蛋白原、MCP-1、MPO、PAI-1、t-PA、D-二聚体、心率相应升高0.51%、0.48%、0.56%、0.49%、0.43%、0.31%、0.20%（$P<0.05$）。**结论** 室内空气净化器与炎症和凝血生物标志物的浓度降低有关。空气净化可能成为一种改善老年人的循环和心肺健康的公共卫生措施。

【关键词】 颗粒物；空气过滤器；老年人；随机对照试验；交叉研究；公共卫生

【中图分类号】 R 122 【文献标识码】 A DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2022.0799

周敏，郑子光，游宏宇，等.减少室内空气颗粒物对老年人心血管和呼吸系统生理指标的影响研究［J］.中国全科医学，2023.［Epub ahead of print］.［www.chinagp.net］

ZHOU M，ZHENG Z G，YOU H Y，et al. Effects of reducing indoor air particles on cardiovascular and respiratory physiological indexes in the elderly［J］. Chinese General Practice，2023.［Epub ahead of print］.

Effects of Reducing Indoor Air Particles on Cardiovascular and Respiratory Physiological Indexes in The Elderly

ZHOU Min[1]，*ZHENG Ziguang*[2]，*YOU Hongyu*[2]，*GUO Miao*[3]，*YU Wei*[3*]

1.Geriatric department，Chongqing Emergency Medical Center/the Fourth People's Hospital of Chongqing，Chongqing 400030，China

2.Western investment construction Co.，LDT of CCTEB，Chengdu 610041，China

3.School of Civil Engineering，Chongqing University，Chongqing 400045，China

[*]Corresponding author：Yu Wei，Professor/Doctoral supervisor；E-mail：yuweicqu@cqu.edu.cn

【Abstract】 **Background** Exposure to indoor air particles pollution increases the incidence and mortality of respiratory and cardiovascular diseases，especially in the elderly population. **Objective** To explore the effect of indoor air particles on cardiopulmonary-related physiological indexes of the elderly and short-term use of air purifiers on the improvement of cardiopulmonary health of the elderly. **Methods** A randomized，double-blind，crossover trial was conducted in January 2020 on 24 healthy older adults selected from a senior apartment in Jiangbei District of Chongqing. These included older adults were randomized equally divided into two groups alternately using real and sham air purifiers for 48 h with a 12-days washout

基金项目：国家自然科学基金面上项目（52078076）—室内高湿环境老年人暴露途径及其呼吸系统功能蓄积特征解析；中央高校基本业务费“医工融合”项目（2019CDYGYB023）—室内环境风险因子耦合暴露对老年人COPD的致病机理

1.400030 重庆市急救医疗中心 重庆市第四人民医院老年科 2.610041 四川省成都市，中建三局西部投资建设有限公司 3.400045 重庆市，重庆大学土木工程学院

[*]通信作者：喻伟，教授/博士生导师；E-mail：yuweicqu@cqu.edu.cn

本文数字出版日期：2023-03-01

interval. 14 health indexes including biomarkers of circulatory system inflammation, coagulation, oxidative stress and pulmonary function, blood pressure, heart rate, exhaled fractional nitric oxide (FeNO) were measured. Linear mixed-effect model was used to evaluate the effect of the air purifiers on health indexes. **Results** The results of the linear mixed-effect model showed that compared with the sham purifiers, fibrinogen, MCP-1 and MPO in the blood inflammatory indicators were changed by -15.1% [95%*CI* (-23.1%, -6.3%), *P*<0.05], -17.7% [95%*CI* (-22.9%, -12.3%), *P*<0.05] and -17.2% [95%*CI* (-23.9%, -9.8%), *P*<0.05], PAI-1 and t-PA in the coagulation factors changed by -14.9% [95%*CI* (-21.1%, -8.2%), *P*<0.05] and -13.5% [95%*CI* (-18.7%, -8.0%), *P*<0.05], heart rate changed by -5.8% [95%*CI* (-10.6%, -0.8%), *P*<0.05] in the real purifiers, respectively. For every 1 μg/m^3 increase in $PM_{2.5}$ concentration, fibrinogen, MCP-1, MPO, PAI-1, t-PA, D-dimer and heart rate in the elderly increased by 0.51%, 0.48%, 0.56%, 0.49%, 0.43%, 0.31% and 0.20%, respectively (*P*<0.05). **Conclusion** Indoor air purifiers are associated with decreased concentrations of systemic and local inflammation and coagulation biomarkers. Air purification may be a public health measure to improve circulatory and cardiopulmonary health in the elderly.

【**Key words**】 Particulate matter; Air filters; Aged; Randomized controlled trial; Cross-over studies; Public health

大量研究表明短期和长期暴露于环境颗粒物均会增加呼吸系统和心血管疾病的发病率和死亡率[1-2]。对于心血管疾病，这些机制包括炎症、心脏自主功能改变、凝血和纤维蛋白溶解之间的平衡改变、内皮和微血管功能障碍、动脉粥样硬化进展和斑块不稳定[3-4]。老年人对颗粒物污染具有更高的易感性[5]；颗粒物可以通过通风渗透等方式进入室内危害老年人健康[6]。空气净化器是降低室内颗粒物浓度的有效措施[7]，确定空气净化器对老年人住宅室内颗粒物的净化效果、探究室内空气净化对老年人心肺健康的改善作用十分重要。因此本研究在重庆市养老院中进行了一项随机双盲交叉试验，通过在室内安装便携式空气净化器，大幅度减少室内颗粒物暴露，研究短期使用空气净化器对健康老年人心肺功能的改善效果，为老年人健康建筑标准的制定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究对象 本研究于2020年1月在中国重庆市江北区老年公寓进行，通过张贴海报和面对面交谈的方式招募了26名老年志愿者，纳入标准是:（1）年龄≥60岁;（2）在此养老院生活一年以上，且在研究期间未离开养老院。排除标准:（1）处于心肺疾病的发病期者;（2）试验前1年内存在吸烟、饮酒情况者。26个老年人居住在同一栋建筑中的18个房间中，每个房间2人或1人。房间结构相同，均由卧室和卫生间组成，室内没有颗粒物污染源。

1.2 研究设计 本研究设计为随机双盲交叉干预试验，旨在评估短期室内空气过滤干预对健康指标结果的急性变化影响。将26名老年人随机均分为A，B两组，每组13名老年人，每个老年人参与两阶段试验，每阶段试验时长48 h，两阶段试验间有12 d洗脱期。第一阶段试验中，A组老年人的房间中开启真净化器48 h，B组老年人的房间中开启假净化器（去掉了空气净化器中的高效过滤网，只外观与真净化器相似，没有任何净化功能）48 h。第二阶段中，两组老年人室内干预方式对调。空气净化器的洁净空气量（CADR）为436 m^3/h，风量为520 m^3/h。48 h的试验期间要求受试者呆在自己的房间，保持门窗关闭；由工作人员将食物送到每个房间。所有干预措施从上午8点开始，以避免与昼夜变化有关的问题。老年人和测量健康结果的研究人员均对室内空气净化器类型不知情。老年人参与前均签署书面知情同意书。本研究获得华中师范大学生命科学伦理审查委员会批准（CCNU-IRB-2019-002）。

1.3 暴露评估 在每个干预时期内均使用环境监测仪实时测量室内外颗粒物质量浓度[可吸入颗粒物(PM_{10})、细颗粒物（$PM_{2.5}$）、可入肺颗粒物（$PM_{1.0}$）]及温湿度，时间分辨率为1 min。环境监测仪中颗粒物的监测使用激光粉尘传感器（ZH03B），温度的监测采用高分子湿敏电阻和高精度NTC测温元件（MHTRD06）。室内的环境监测设备安装在离空气净化器至少1 m远的地方，由于老年人经常在室内躺着或坐着，监测点的高度设置在0.6 m~1.0 m，以覆盖老年人呼吸区域。以48 h平均值作为每个房间1~2名受试者的统一暴露水平。室外的环境监测设备安装在老年公寓院中距住宅楼10 m的凉亭中，同时监测室外颗粒物浓度。

1.4 健康指标测试 试验开始前收集老年人的年龄、性别、身高、体质量、既往病史等信息。每次干预结束后采集老年人3 ml静脉血（EDTA管采集）。将静脉血样本分离出血浆，血浆在-80 ℃的环境下存放。利用血浆测试了14种循环生物标志物，包括8项血液炎症指标〔C反应蛋白（CRP），纤维蛋白原，P选择蛋白（P-selectin），单核细胞趋化蛋白1（MCP-1），白介素1β（IL-1β），白介素6（IL-6），肿瘤坏死因子（TNF-α），髓过氧化物酶（MPO）〕；4项凝血指标（可溶性CD40配体（sCD40L），纤溶酶原激活物抑制

剂 1（PAI-1），组织型纤溶酶原激活物（t-PA），D- 二聚体；2 项氧化应激指标〔活性氧（ROS），谷胱甘肽（GSH）〕，这些生物标志物均用酶联免疫吸附测定法测定。同时使用便携式 NIOX MINO 机器测量了呼出气一氧化氮（FeNO）水平；使用肺活量计测试第 1 秒用力呼气量（FEV_1）、用力肺活量（FVC）和呼气峰流速值（PEF）；使用上臂电子血压计测量老年人的血压和心率。

1.5 统计分析方法 所有分析均采用 R 软件的“lme4”包（version 4.0.4）进行。室内外监测的 PM 浓度以（$\bar{x} \pm s$）表示。采用线性混合效应模型探究室内开启空气净化器对老年人心肺相关健康指标的影响，健康指标均为偏态分布，因此在统计分析之前对健康指标进行对数变换；以健康指标的对数变换值为因变量，室内是否净化为自变量（固定效应），以年龄、性别、体质指数、室内相对湿度和室内温度作为固定效应协变量；所有模型均包含受试者的随机截距。在敏感性分析中采用线性混合效应模型对性别分析，探究室内使用空气净化器对于男性和女性健康指标的影响；其次在敏感性分析中以室内 $PM_{2.5}$ 浓度的连续变量形式为自变量，其他变量同上进行线性混合效应模型分析。所有统计检验采用 α=0.05 的双侧检验。

2 结果

2.1 一般情况 试验初期招募 26 名老年人参与试验，其中有两位老年人中途退出试验，最终的研究对象包括 12 名男性和 12 名女性，平均年龄为（82±8）岁，平均体质指数为（24.7±3.8）kg/m^2。参与者自报告整个干预期间呆在室内，并在养老院度过洗脱期。24 名参与者完成了血压和心率的测量；2 名参与者拒绝抽血；2 名参与者无法完成完整的 FeNO 测试和肺功能测试，2 名仅完成 FeNO 测试，2 名仅完成肺功能测试。因此最终有 24 名参与者配对的血压、心率数据，20 名参与者配对的 FeNO 和肺功能测试结果、22 名参与者配对的血样被纳入分析。

2.2 颗粒物暴露和气象参数 试验期间室外 PM1.0、$PM_{2.5}$ 和 PM_{10}、温度、湿度分别为（37.8±4.5）$\mu g/m^3$、（60.8±6.1）$\mu g/m^3$、（77.7±7.5）$\mu g/m^3$、（11.0±3.7）℃、相对湿度（64.6±5.0）%；老年公寓真净化器室内 $PM_{1.0}$、$PM_{2.5}$、PM_{10}、温度、相对湿度分别为（7.3±3.4）$\mu g/m^3$、（12.7±5.5）$\mu g/m^3$、（16.0±7.0）$\mu g/m^3$、（20.0±1.9）℃、（52.7±3.8）%；假净化器室内 $PM_{1.0}$、$PM_{2.5}$、PM_{10}、温度、相对湿度分别为（27.3±4.7）$\mu g/m^3$、（45.6±7.8）$\mu g/m^3$、（58.5±10.1）$\mu g/m^3$、（19.8±1.5）℃、（51.4±4.6）%。

2.2 老年人真、假空气净化器健康指标结果 真净化器和假净化器 48 h 后老年人的 8 个系统性炎症因子、4 个凝血因子、血压、心率、肺功能、呼吸道炎症和 2 个氧化应激生物标志物的结果，见表 1。

2.3 混合线性模型结果 混合效应模型结果可见，与假净化器相比，真空气净化明显改善老年人 3 项血液炎症指标、2 项凝血因子和心率（P<0.05），见表 2。与暴露在假净化室内的老年人相比，暴露在真净化室内老年人的血液炎症因子中纤维蛋白原、MCP-1、MPO 改变量为 -15.1%〔95%*CI*（-23.1%，-6.3%）〕、-17.7%〔95%*CI*（-22.9%，-12.3%）〕和 -17.2%〔95%*CI*（-23.9%，-9.8%）〕；凝血因子中 PAI-1 改变量为 -14.9%〔95%*CI*（-21.1%，-8.2%）〕，t-PA 改变量为 -13.5%〔95%*CI*（-18.7%，-8.0%）〕；心率改变量为 -5.9%〔95%*CI*（-10.1%，-1.4%）〕。真净化器、假净化器的顺序对老年人任何一项健康指标的结果无影响（P>0.05）。

2.4 空气净化器对不同性别老年人健康指标影响 以性别分层，对室内开启净化器与老年人生理指标变化之

表 1 假净化器和真净化器试验期间的健康指标结果（$x \pm s$）

Table 1 Health indexes in the real purifiers group and sham purifiers group during the intervention period

组别	例数	血液炎症因子[a]								凝血因子[a]		
		CRP（μg/L）	纤维蛋白原（μg/L）	P 选择蛋白（ng/L）	MCP-1（ng/L）	IL-1β（ng/L）	IL-6（ng/L）	TNF-α（ng/L）	MPO（μg/L）	sCD40L（ng/L）	PAI-1（ng/L）	t-PA（ng/L）
假净化器	24	2 084.7±426.5	993.3±195.6	4 461.6±575.5	240.6±27.1	53.1±5.8	20.0±2.8	314.0±74.4	78.2±10.8	628.4±146.6	657.4±110.6	211.7±22.7
真净化器	24	1 864.3±397.5	859.5±174.1	4 225.6±522.5	198.6±21.8	51.3±5.8	19.3±2.7	293.7±70.7	65.2±12.4	610.3±18.1	564.8±129.6	183.6±29.7

组别	血压和心率				肺功能及肺部炎症[b]				氧化应激因子[a]	
	D 二聚体（μg/L）	SBP（mm Hg）	DBP（mm Hg）	HR（bpm）	PEF（L/min）	FEV_1（L）	FVC（L）	FENO（ppb）	ROS（μg/L）	GSH（ng/L）
假净化器	3 728.4±706.7	145±30	87±13	74±13	104.5±32.4	0.87±0.45	1.03±0.62	18.9±10.0	11.5±1.4	76.6±11.8
真净化器	3 470.3±536.9	142±27	88±15	70±10	96.9±41.6	0.87±0.48	1.08±0.70	16.0±9.7	11.0±1.3	82.2±12.4

注：[a] 表示存在数据缺失，真、假净化器老年人例数均为 22；[b] 表示存在数据缺失，真、假净化器老年人例数均为 20；CRP=C 反应蛋白，MCP-1= 单核细胞趋化蛋白 1，IL-1β= 白介素 1β，IL-6= 白介素 6，TNF-α= 肿瘤坏死因子，MPO= 髓过氧化物酶，sCD40L= 可溶性 CD40 配体，PAI-1= 纤溶酶原激活物抑制剂 1，t-PA= 组织型纤溶酶原激活物，SBP= 收缩压，DBP= 舒张压，HR= 心率，PEF= 呼气峰流速值，FEV_1= 第一秒用力呼气量，FVC= 用力肺活量，FENO= 呼出气一氧化氮，ROS= 活性氧，GSH= 谷胱甘肽，

间的关系进行了敏感性分析，混合效应模型结果可见，与假净化器相比，室内开启真空气净化器可降低男性老年人 CRP、纤维蛋白原、MCP-1、IL-1β、MPO、PAI-1、t-PA（$P<0.05$）；与假净化器相比，室内开启真空气净化器可降低女性老年人纤维蛋白原、MCP-1、PAI-1、t-PA、心率（$P<0.05$），见表 3。

2.5 室内 PM2.5 对老年人生理指标的剂量 - 反应关系

线性混合效应模型结果显示，室内 PM2.5 浓度每升高 1 μg/m^3，老年人纤维蛋白原、MCP-1、MPO、PAI-1、t-PA、D- 二聚体、心率相应升高 0.51%、0.48%、0.56%、0.49%、0.43%、0.31%、0.20%（$P<0.05$），见表 4。

3 讨论

表 2 真、假净化下老年人健康指标的线性混合效应模型结果

Table 2 Linear mixed-effect model results of health indexes of the elderly under real and sham purification

健康变量	改变百分比（%）	95%CI	SE	t 值	P 值	健康变量	改变百分比（%）	95%CI	SE	t 值	P 值
血液炎症指标						血压和心率					
CRP	-9.9	（-19.2，0.6）	109.46	-1.950	0.081	SBP	-1.8	（-5.9，2.4）	3.06	-1.060	0.288
纤维蛋白原	-15.1	（-23.1，-6.3）	46.23	-3.380	0.001	DBP	1.1	（-3.0，5.3）	1.83	0.590	0.556
P- 选择素	-4.7	（-9.5，0.5）	114.11	-1.890	0.079	HR	-5.9	（-10.1，-1.4）	1.69	-2.800	0.005
MCP-1	-17.7	（-22.8，-12.2）	7.16	-6.050	<0.001	肺功能及肺部炎症					
IL-1β	-3.4	（-8.4，1.8）	1.41	-1.290	0.197	PEF	-7.1	（-21.9，10.4）	9.07	-0.535	0.593
IL-6	-3.7	（-10.7，3.9）	0.75	-0.964	0.335	FEV_1	-0.3	（-12.8，14.1）	0.06	0.173	0.863
TNF-α	-5.9	（-18.5，8.6）	21.13	-0.890	0.374	FVC	3.6	（-10.3，19.7）	0.09	0.870	0.386
MPO	-17.2	（-23.9，-9.8）	2.98	-4.430	<0.001	FeNO	-14.0	（-30.2，6.0）	2.45	-1.000	0.317
凝血因子						氧化应激					
sCD40L	-2.2	（-13.9，11.0）	40.13	-0.457	0.648	ROS	-1.5	（-7.7，5.2）	0.36	-0.520	0.606
PAI-1	-14.9	（-21.1，-8.2）	22.13	-4.200	<0.001	GSH	6.8	（-2.2，16.6）	3.55	1.480	0.140
t-PA	-13.5	（-18.7，-8.0）	5.83	-4.770	<0.001						
D- 二聚体	-8.9	（-17.3，0.4）	173.06	-2.060	0.063						

表 3 男、女性老年人真、假净化器下健康指标的线性混合效应模型结果

Table 3 Linear mixed-effect model results of health indexes of male and female older adults under real and sham purification

健康变量	男				女			
	改变百分比（%）	SE	t 值	P 值	改变百分比（%）	SE	t 值	P 值
CRP	-23.43	130.67	-4.040	<0.001	7.69	110.86	1.120	0.262
纤维蛋白原	-17.00	60.44	-2.870	0.004	-11.89	61.41	-2.058	0.040
P- 选择素	-5.87	163.06	-0.610	0.107	-4.43	167.36	-1.250	0.210
MCP-1	-22.54	6.53	-8.660	<0.001	-12.75	12.84	-2.370	0.018
IL-1β	-6.14	1.63	-1.980	0.048	0.32	2.52	0.020	0.984
IL-6	-0.31	0.93	0.026	0.979	-5.57	1.28	-0.919	0.358
TNF-α	-7.44	30.28	-0.793	0.428	-3.72	34.37	-0.342	0.732
MPO	-17.07	3.29	-0.403	<0.001	-18.41	5.47	-2.653	0.110
sCD40L	-3.78	59.61	-0.480	0.631	1.05	62.63	0.033	0.974
PAI-1	-22.74	25.75	-5.597	<0.001	-7.29	15.86	-3.041	0.002
t-PA	-12.47	7.91	-3.229	0.001	-13.96	9.32	-3.110	0.002
D 二聚体	-6.12	261.02	-0.913	0.361	-12.20	251.43	-1.970	0.089
SBP	-0.72	4.82	-0.330	0.741	-3.33	4.48	-1.190	0.235
DBP	-0.37	2.22	-0.193	0.847	1.15	3.01	0.489	0.422
HR	-5.06	2.81	-1.390	0.165	-6.69	2.10	-2.810	0.005
PEF	-4.26	14.48	-0.090	0.927	-8.48	8.99	-0.704	0.482
FEV_1	0.31	0.09	0.370	0.780	0.43	0.67	0.062	0.950
FVC	4.83	0.16	0.744	0.457	2.76	0.08	0.410	0.682
FeNO	-17.34	2.83	-1.220	0.223	-8.84	4.70	-0.240	0.809
ROS	-0.08	0.56	0.383	0.702	-4.36	0.37	-1.362	0.173
GSH	-0.10	5.78	0.652	0.514	8.97	4.53	1.482	0.138

表 4　室内 $PM_{2.5}$ 浓度每增加 1 μg/m³ 老年人健康标志物的变化
Table 4　Changes in health indexes of the elderly for every 1 μg/m³ increase in indoor $PM_{2.5}$ concentration

健康变量	改变百分比（%）	*SE*	*t* 值	*P* 值
CRP	0.18	3.438	1.067	0.314
纤维蛋白原	0.51	1.326	3.633	<0.001
P- 选择素	0.11	3.546	1.426	0.184
MCP-1	0.48	0.243	4.380	<0.001
IL-1β	0.10	0.043	1.194	0.230
IL-6	0.15	0.022	1.356	0.173
TNF-α	0.07	0.626	0.368	0.763
MPO	0.56	0.089	4.387	<0.001
sCD40L	0.03	1.177	0.246	0.860
PAI-1	0.49	0.705	4.011	<0.001
t-PA	0.43	0.176	4.658	<0.001
D 二聚体	0.31	4.907	2.319	0.028
SBP	0.03	0.100	0.497	0.708
DBP	-0.01	0.059	-0.022	0.917
HR	0.20	0.055	2.820	0.009
PEF	0.21	0.280	0.489	0.625
FEV_1	0.01	0.002	-0.169	0.866
FVC	-0.10	0.003	-0.732	0.464
FeNO	0.41	0.079	0.788	0.431
ROS	0.03	0.010	0.371	0.710
GSH	-0.18	0.102	-1.380	0.168

假净化器条件下，老年公寓室内空气中 $PM_{2.5}$ 浓度为 45.6 μg/m³，高于世界卫生组织标准规定值（25 μg/m³）[8]。使用空气净化器后，室内 $PM_{2.5}$ 浓度为 12.7 μg/m³，符合 WHO 标准。空气净化器可以有效地降低室内颗粒物的浓度，从而减少可吸入颗粒物暴露对老年人的伤害。短期的室内空气净化可能有心肺方面的好处。本研究发现在通过空气净化降低颗粒物水平后，3 个炎症指标（纤维蛋白原、MCP-1、MPO）、两个凝血指标（PAI-1 和 t-PA）、心率都有相应下降。

空气污染和心血管疾病之间的关系涉及许多病理生理学途径，如全身炎症和凝血[9]。CRP 是心血管事件发生的一个可靠和独立的预测因素[10]。一些横断面研究发现，暴露于颗粒物和 CRP 存在正相关[11-12]。在应对血管破坏或炎症时，人体的反应是增加凝血因子的数量，以加强和完成血栓的形成，其中纤维蛋白原在这个过程中起着关键作用[13-14]。一项对伊朗德黑兰 44 名健康成年人的研究发现，在不同的空气污染条件下，纤维蛋白原水平有明显差异，沙尘暴条件下受试者的纤维蛋白原水平最高[15]；一项对 40 名健康年轻人的研究也发现，空气中的 $PM_{2.5}$ 浓度与纤维蛋白原水平存在明显的相关性[16]。本研究结果与之一致，但是本研究试验条件不同，本研究是在正常的大气条件下进行的，PM 的主要来源是室外交通排放物，而不是上述的极端天气，如沙尘暴。中国北京一项在日常大气条件下进行的空气净化器的随机双盲干预研究发现，空气净化能降低年轻人的 CRP 和纤维蛋白原，但并不明显[17]。本研究中 48 h 的室内空气净化引起老年人纤维蛋白原的明显变化，这可能是由于随着身体的老化、身体机能下降，使老年人更容易感受到颗粒物对心血管健康的损害。因此空气净化对老年人的潜在健康益处比普通人群更大。接触可吸入颗粒物和静脉血栓栓塞症有关的生物学机制尚未完全确定，有研究表明其中一个可能的机制是高凝血性和增强血栓形成[18]。本研究也发现使用空气净化后 PAI-1 和 t-PA 明显下降，支持了这个观点。

本研究检查了多个健康指标，对于老年人室内颗粒物研究具有探索性价值；但本研究仅包括 16 个房间中的 24 名参与者，样本量相对较小，可能会错过一些潜在的重要但适度的差异。

综上所述，本研究发现空气净化器的使用可以明显降低老年人纤维蛋白原、MCP-1、MPO、PAI-1、t-PA 和心率。随着 $PM_{2.5}$ 浓度增加，老年人纤维蛋白原、MCP-1、MPO、PAI-1、t-PA、D 二聚体、心率相应升高。空气净化可能改善老年人的循环和心肺健康。

作者贡献：周敏负责调查研究、方法设计、提供资源、有效验证、初稿写作；郑子光负责调查研究、项目管理；游宏宇负责形式分析、软件处理；郭淼负责数据策划、可视化；喻伟负责方案策划、获取资助、项目管理、提供资源、监督指导、写作审编等。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] YUNESIAN M, ROSTAMI R, ZAREI A, et al. Exposure to high levels of PM2.5 and PM10 in the metropolis of Tehran and the associated health risks during 2016-2017 [J]. Microchem J, 2019, 150: 104174. DOI: 10.1016/j.microc.2019.104174.

[2] LI B X, YANG J, DONG H, et al. $PM_{2.5}$ constituents and mortality from a spectrum of causes in Guangzhou, China [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2021, 222: 112498. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112498.

[3] AMERICAN THORACIC SOCIETY, EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY. ATS/ERS recommendations for standardized procedures for the online and offline measurement of exhaled lower respiratory nitric oxide and nasal nitric oxide, 2005 [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2005, 171(8): 912-930. DOI: 10.1164/rccm.200406-710ST.

[4] BROOK R D, RAJAGOPALAN S, POPE C A 3rd, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association [J]. Circulation, 2010, 121(21): 2331-2378. DOI: 10.1161/CIR.0b013e3181dbece1.

[5] PELED R. Air pollution exposure: who is at high risk? [J]. Atmos Environ, 2011, 45(10): 1781-1785. DOI: 10.1016/

j.atmosenv.2011.01.001.

[6] LADEN F, NEAS L M, DOCKERY D W, et al. Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U.S. cities [J]. Environ Health Perspect, 2000, 108(10): 941–947. DOI: 10.1289/ehp.00108941.

[7] TAMANA S K, GOMBOJAV E, KANLIC A, et al. Portable HEPA filter air cleaner use during pregnancy and children's body mass index at two years of age: the UGAAR randomized controlled trial [J]. Environ Int, 2021, 156: 106728. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106728.

[8] World Health Organization. Air Quality Guidelines [M]. Germany: Druckpartner Moser, 2006.

[9] FIORDELISI A, IACCARINO G, MORISCO C, et al. NFkappaB is a key player in the crosstalk between inflammation and cardiovascular diseases [J]. Int J Mol Sci, 2019, 20(7): 1599. DOI: 10.3390/ijms20071599.

[10] KOENIG W, KHUSEYINOVA N, BAUMERT J, et al. Increased concentrations of C-reactive protein and IL-6 but not IL-18 are independently associated with incident coronary events in middle-aged men and women: results from the MONICA/KORA Augsburg case-cohort study, 1984–2002 [J]. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 2006, 26(12): 2745–2751. DOI: 10.1161/01.ATV.0000248096.62495.73.

[11] MICHIKAWA T, OKAMURA T, NITTA H, et al. Cross-sectional association between exposure to particulate matter and inflammatory markers in the Japanese general population: NIPPON DATA2010 [J]. Environ Pollut, 2016, 213: 460–467. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.02.051.

[12] PILZ V, WOLF K, BREITNER S, et al. C-reactive protein (CRP) and long-term air pollution with a focus on ultrafine particles [J]. Int J Hyg Environ Health, 2018, 221(3): 510–518. DOI: 10.1016/j.ijheh.2018.01.016.

[13] GHARIBI H, ENTWISTLE M R, HA S D, et al. Ozone pollution and asthma emergency department visits in the Central Valley, California, USA, during June to September of 2015: a time-stratified case-crossover analysis [J]. J Asthma, 2019, 56(10): 1037–1048. DOI: 10.1080/02770903.2018.1523930.

[14] GHARIBI H, ENTWISTLE M R, SCHWEIZER D, et al. The association between 1, 3-dichloropropene and asthma emergency department visits in California, USA from 2005 to 2011: a bidirectional-symmetric case crossover study [J]. J Asthma, 2020, 57(6): 601–609. DOI: 10.1080/02770903.2019.1590596.

[15] JAAFARI J, NADDAFI K, YUNESIAN M, et al. The acute effects of short term exposure to particulate matter from natural and anthropogenic sources on inflammation and coagulation markers in healthy young adults [J]. Sci Total Environ, 2020, 735: 139417. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139417.

[16] WU S W, DENG F R, WEI H Y, et al. Chemical constituents of ambient particulate air pollution and biomarkers of inflammation, coagulation and homocysteine in healthy adults: a prospective panel study [J]. Part Fibre Toxicol, 2012, 9: 49. DOI: 10.1186/1743-8977-9-49.

[17] CHEN R J, ZHAO A, CHEN H L, et al. Cardiopulmonary benefits of reducing indoor particles of outdoor origin: a randomized, double-blind crossover trial of air purifiers [J]. J Am Coll Cardiol, 2015, 65(21): 2279–2287. DOI: 10.1016/j.jacc.2015.03.553.

[18] KORD MOSTAFAPOUR F, JAAFARI J, GHARIBI H, et al. Characterizing of fine particulate matter (PM1) on the platforms and outdoor areas of underground and surface subway stations [J]. Hum Ecol Risk Assess Int J, 2018, 24(4): 1016–1029. DOI: 10.1080/10807039.2017.1405340.

（收稿日期：2022-08-08；修回日期：2023-02-13）

（本文编辑：宋春梅）